



Examensarbeten

2015:8

Fakulteten för skogsvetenskap
Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Algbiomassa som gödselmedel till gran och tall

Biomass from algae as a fertilizer used to norwegian spruce and scots pine

Simon Bylund



Examensarbeten

2015:8

Fakulteten för skogsvetenskap

Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Algbiomassa som gödselmedel till gran och tall

Biomass from algae as a fertilizer used to norwegian spruce and scots pine

Simon Bylund

Nyckelord / Keywords:

Alger, gran (*Picea abies*), gödselmedel, grönalger, plantskola, tall (*Pinus sylvestris*) /
Algae, Norwegian spruce (Picea abies), fertilizer, green algae, plant nursery, Scots pine (Pinus sylvestris)

ISSN 1654-1898

Umeå 2015

Sveriges Lantbruksuniversitet / *Swedish University of Agricultural Sciences*

Fakulteten för skogsvetenskap / *Faculty of Forest Sciences*

Jägmästarprogrammet / *Master of Science in Forestry*

Examensarbete i skogshushållning / *Master degree thesis in Forest management*

EX0770, 30 hp, avancerad nivå A2E/ *advanced level A2E*

Handledare / *Supervisor*: Francesco Gentili

SLU, Inst för vilt, fisk och miljö / *SLU, Dept of Wildlife, Fish, and Environmental Studies*

Extern handledare / *External supervisor*: Ellinor Edvardsson, Holmen Skog

Examinator / *Examiner*: Göran Hallsby

SLU, Inst för skogens ekologi och skötsel / *SLU, Dept of Forest Ecology and Management*

I denna rapport redovisas ett examensarbete utfört vid Institutionen för skogens ekologi och skötsel, Skogsvetenskapliga fakulteten, SLU. Arbetet har handletts och granskats av handledaren, och godkänts av examiner. För rapportens slutliga innehåll är dock författaren ensam ansvarig.

This report presents an MSc/BSc thesis at the Department of Forest Ecology and Management, Faculty of Forest Sciences, SLU. The work has been supervised and reviewed by the supervisor, and been approved by the examiner. However, the author is the sole responsible for the content.

Förord

Denna studie är gjord för att försöka hitta ett nytt användningsområde för den grönalgsmix som odlas vid alg piloten vid Dåva kraftvärmeverk. Förhoppningen var att det skulle fungera bra som gödslingsmedel till tall- och granplantor. Jag vill tacka min handledare Francesco Gentili på SLU och min handledare Ellinor Edvardsson vid Gideå planskola som båda har hjälpt mig i arbetet och gjort detta försök möjlig att genomföra. Vill även tacka Anders Muszta som varit behjälplig vid de statistiska körningarna.

Sammanfattning

För att växter ska växa bra krävs det en mix av olika näringsämnen där de två viktigaste näringsämnena normalt sett är kväve (N) och fosfor (P). Det är viktigt att mixen av olika näringsämnen passar växtens behov samt att näringsämnena är möjliga för växten att ta upp. Det får inte heller vara för mycket av ett näringsämne då detta kan leda till förgiftning. Denna studie är gjord med syfte att klargöra hur algbiomassa av grönalger i blandad mix fungerar som gödslingsmedel för små plantor av tall (*Pinus sylvestris*) och gran (*Picea abies*). Samt att hitta förklaringar över varför algerna påverkar plantornas tillväxt. Försöken genomfördes på 738 plantor varav hälften var tall- och andra hälften granplantor. 58 av dessa plantor fick ingen gödsel alls, 309 plantor gödslades med arGrowgödslingsmedel och 371 plantor gödslade med alggödslingsmedel. Försöket gjordes under sommaren 2014 och mätningar och datainsamlingar gjordes under försökets gång och efter försökets slut. Resultatet visar att både tallplantorna och granplantorna gödslade med alger växte betydligt mindre på höjden och hade en mindre diameter än plantorna gödslade med arGrow. Näringsanalyser tyder på att det begränsande näringsämnet var fosfor och inte i första hand kväve. Både granplantorna och tallplantorna gödslade med alger visades efter försökets slut innehålla höga halter av järn (Fe), zink (Zn) och aluminium (Al). De höga koncentrationer av metaller i algerna kan vara toxiska och hämma tillväxten.

Nyckelord: Alger, gran (*Picea abies*) gödselmedel, grönalger, Plantskola, tall (*Pinus sylvestris*),

Summary

If plants are supposed to grow well they need a good mix of different nutrition's, where the two most important normally is nitrogen (N) and phosphorous (P). It is important that that the mix of different nutrition's fits the need of the plant and it is possible for the plant to use the nutrition. An excess of a single nutrient can become toxic to the plants. The purpose of this study was to clarify how well green algae biomass worked as a fertiliser for seedlings of pine (*Pinus sylvestris*) and spruce (*Picea abies*). The study was performed on 738 plants where half was pine and the other half spruce. Fifty eight plants where not fertilized at all and 309 plants was fertilized with arGrow fertiliser and 371 plants where fertilized with algae biomass. The study was made during the summer of 2014 and data were collected during the course of the experiment and after the experiment was ended. The result showed, that both pine and spruce seedlings fertilised with algae, grew considerable less in height and had a smaller diameter than the seedlings fertilised with arGrow. The nutrient analysis indicates that the limited nutrient was phosphorus and not nitrogen. Both the pine and the spruce seedlings fertilised with algae also showed at the end of the study, high levels of iron (Fe), zinc (Zn) and aluminium (Al). These high levels could be toxic and inhibit the growth of the plants.

Keywords: Algae, norwegian spruce (*Picea abies*), fertilizer, green algae, plant nursery, scots pine (*Pinus sylvestris*).

Innehållsförteckning

Innehållsförteckning	4
Inledning.....	6
Näringsbehov	6
Näringsämnen.....	7
Kväve	7
Fosfor	8
Algbiomassa	8
Andra studier	8
Förgiftning.....	9
Järn	9
Zink	9
Aluminium	9
Nedbrytning.....	9
Torv	10
Algpiloten.....	10
ArGrow.....	10
Plantkvalitet.....	10
Rotskottskvot.....	10
Bristämnen	11
Syfte	11
Material och metoder	11
Algernas ursprung	11
Algernas artidentifiering	12
Förberedelse med algerna.....	12
Kväveanalys av algerna.....	12
Näringsanalyser av algerna	12
Plantmaterial.....	12
Odlingslokal och skötsel	12
Försöksdesign.....	13
Gödselmedel och behandling	13
Algödslet	13

ArGrow.....	13
Ogödslade.....	13
Datainsamling.....	14
Inmätning vid varje gödslingstillfälle	14
Avslutande provtagning	14
Rotskottskvot.....	14
Näringsanalyser.....	14
Kväveanalys i plugg	14
Uträkning för att påvisa bristämnen	14
Statistisk analys	15
Resultat.....	16
Algernas näringsinnehåll.....	16
Plantornas utseende	17
Plantornas höjd.....	19
Plantornas diameter	20
Plantornas näringsinnehåll	21
Bristämnen	21
Rotskottskvot.....	22
Kvävehalt i plugg	22
Diskussion	24
Kvävebrist	24
Fosforbrist	24
Förgiftning.....	25
Rotskottskvot.....	26
Brister i metoden	26
Slutsatser	27
Referenser.....	28
Muntligakällor	30
Bilagor	31

Inledning

Näringsbehov

Växter behöver olika näringsämnen för att kunna växa. Förutom koldioxid (CO₂) och vatten (H₂O) behöver växter mineralnäringsämnen. Dessa delas in i två kategorier beroende på i vilken koncentration växten behöver mineralnäringsämnet. Om behovet är mindre än 100 ppm (mg/kg) i torrsubstans räknas mineralnäringsämnet till mikronäringsämnen och de övriga räknas till makronäringsämnen (Tabell 1) (Hawking 2011).

Tabell 1. De viktigaste mineralnäringsämnen för växter indelade i makronäringsämnen och mikronäringsämnen. (Hawking 2011)

Näringsämne och symbol	
Makro	Micro
Kväve (N)	Klor (Cl)
Kalium (K)	Järn (Fe)
Kalcium (Ca)	Mangan (Mn)
Magnesium (Mg)	Bor (B)
Fosfor (P)	Zink (Zn)
Svavel (S)	Koppar (Cu)
	Molybden (Mo)
	Nickel (Ni)

För att tillgodose växters näringsbehov används olika typer av gödselmedel. Det finns oorganiska gödselmedel (handelsgödsel), och organiska gödselmedel. Beroende på olika typer av växter kan förhållande mellan mineralnäringsämnen variera. Även mellan tall (*Pinus sylvestris*) och gran (*Picea abies*) finns det mindre skillnader men dessa är små och brukar ibland bortses från (Tabell 2). Ett gödselmedel kan innehålla precis rätt sammansättning av mineralnäringsämnen för en växt utan att växterna kan tillgodogöra sig det. Detta beror på att näringsämnena inte alltid är tillgängliga för växterna att ta upp. De kan vara i icke upptagbar form eller vara hårdare bundet till något annat ämne (Mengel m.fl., 2001).

Tabell 2. Makronäringsämnen och mikronäringsämnens optimala proportioner i förhållande till kväve (N=100)

	Tall*	Gran*	Tall&Gran**	Gran***
Kväve	100	100	100	100
Fosfor	14	16	13	9,8
Kalium	45	50	65	35,6
Kalcium	6	5	7	3
Magnesium	6	5	8,5	2,2
Natrium				
Mangan			0,4	
Koppar			0,03	
Zink			0,06	0,059
Bor			0,2	
Järn			0,7	0,143
Aluminium				
Svavel			9	4,7

* Värden tagna från Ericsson m.fl. (1992)

** Värden tagna från Rytter L (2007)

*** Värden tagna från Ericsson m.fl. (1994)

Näringsämnen

Kväve

Kväve brukar räknas som det viktigaste näringsämnet eftersom det ofta är den tillväxtbegränsande faktorn för växter, särskilt i det boreala ekosystemet. Kväve är det näringsämne som växterna behöver i störst kvantitet och markbundet kväve är mycket dynamiskt med stor avgång till atmosfären genom mikrobiell aktivitet (Cregg, 2005). Kväve används av växterna till komponenter för att skapa aminosyror, proteiner, nukleotider, nukleinsyror, klorofyller och koenzymer (Raven m.fl. 2005; Hawking 2011). Den allmänt rådande uppfattningen var tidigare att växter bara kunde ta upp icke organiska kväveformer så som nitrat (NO_3) och ammonium (NH_4) men i slutet av 1990 talet visades detta vara felaktigt då växter bevisades kunna ta upp organiskt kväve i form av aminosyror (Näsholm m.fl., 1998; Persson m.fl. 2006). Detta innebär att plantor snabbare kan ta tillvara på det kväve som frigörs när organisk biomassa bryts ner, istället för ta upp kväve i formerna NO_3 och NH_4 (Hawking 2011). Bristsymtom av kväve hos träd är generellt kloros (nedsatt eller utebliven förmåga att bilda klorofyll), särskilt i de äldre barren, vid stor brist kan barren bli helt gula för att sedan bli ljusbruna och dö av (Raven m.fl. 2005).

Fosfor

För växters tillväxt är fosfor det näst mest begränsade näringsämnet efter kväve (Schachtman m.fl. 1998; Vance m.fl. 2001). Fosfor är en viktig enhet i energibärande komponenter och växter kan inte växa utan en tillgång på fosfor (Schachtman m.fl. 1998). Fosforbrist kan ofta ses genom att löven blir lila, (Cregg, 2005; Wallace, 1946) men det kan även visualiseras genom bronsfärgade eller olivgröna löv (Wallace, 1946). Växter tar främst upp fosfor genom diffusion, detta går långsamt och det är bara i zonen närmast roten som fosfor tas upp. För att öka fosforupptaget är det viktigt med ett rotsystem med större yta som kan komma i kontakt med en större volym jord (Lynch, 1995). Eftersom mykorrhiza ökar rötternas yta såväl som volymen jord rötterna kommer i kontakt med är mykorrhizan viktig vid fosforupptag (Smith and Read 1997). Mykorrhiza uppkommer spontant vid plantskolor via sporer som finns i omgivningen och börjar normalt utvecklas tidigt den första tillväxtsåsongen (Molina & Trappe 1984). Den högsta koncentrationen av upptagbar fosfor finns i jordar med pH mellan 6 och 7 (Russel, 1988).

Algbiomassa

Andra studier

Gröna alger innehåller generellt 3-8 % kväve av torrvikten (Benemann, 1979) men används idag inte i konventionell gödsling av grödor och växter. Det har dock testats i olika studier för att försöka klargöra vilken potential det har som gödslingsmedel. I en studie gjord 2013 (Huang m.fl., 2014) testades hur väl blåalger fungerade som gödselmedel när det blandas med kycklinggödsel. Algerna kom från Tai Hu sjön i östra Kina och hade komposterat i hög temperatur innan försökens början. I resultatet jämfördes plantorna bara gödslade med kycklinggödsel och blandningen med proportionen 93:7 (Andel hönsgödsel:Alger). Resultatet visade att höjdtillväxten för gurka, kajennpeppar, bananer och majs var 77.12 %, 54.32 %, 40.82 % och 25.41 % högre för blandningen med alger. Blåalgerna tillförde mycket näringsämnen till gödslet, särskilt aminosyror som innehåller mycket kväve.

Inom projektet EU-Life algae har odlingsförsök med alger som gödningsmedel gjorts mellan åren 1997 och 1999 på Ålands försökstation samt Dingles naturbruksgymnasium (Melin, 2000). Algerna som användes i försöket var blåstång och trådalger som båda skördades från havet. Två kontroller gjordes, en helt ogödslad och en gödslad med det ekologiska gödslingsmedlet Binaden (NPK 6-3-12). Försöket pågick i tre år men försöksytan byttes för varje år. Resultatet blev inte entydigt mer än att det var svårt att påvisa någon större skillnad mellan de olika gödslingsmedlen. Slutsatsen blev därför att grundförutsättningarna i jordarna hade stor betydelse för resultatet och att fler försök bör göras för att tydligare se vad algernas potential som gödslingsmedel är. I diskussionen nämns möjligheten att använda alger som komplement tillsammans med andra gödslingsmedel för att bättre kunna anpassa blandningen av näringsämnen till det behov plantorna faktiskt har.

Förgiftning

Alger är effektiva på att rena bort metaller ur olika förorenade vatten och innehåller då dessa metaller (Wang m.fl. 2009). Det kan vara ett problem då plantorna kan ta upp större kvantiteter än vad som är nödvändigt och som kan leda till förgiftningar.

Järn

Både för stora och för små upptag av järn av plantor innebär tillväxtförluster (Marschner, 1995). En halt över 500 mg järn (Fe) kg^{-1} torr vikt i löven är toxiskt (Marschner, 1995), detta är dock mycket beroende på andra faktorer, som mixen av andra mineralnäringsämnen i plantan (Yamauchi, 1989). Järntoxicitet (järnförgiftning) är svårt att identifiera bara genom att titta efter synbara symptom hos plantorna (Foy m.fl., 1978; Cregg 2005). Ett symptom på järnbrist kan vara kloros, detta kan ibland endast ses på de nyaste barren (Cregg, 2005).

Zink

Det är vanligare att växter har brist på zink än att halten av zink är toxisk, dock kan det i förorenade miljöer såsom vid gruvnäring eller annan mänsklig aktivitet som gödsling med avloppsslam förekomma toxiska koncentrationer (Chaney, 1993). Symtomen är minskad tillväxt och kloros, där löven gulnar genom minskad klorofyllsyntes (Foy m.fl., 1978; Chaney, 1993). Detta blir vanligen synligt när koncentrationen i barren är över 300 mg Zink (Zn) kg^{-1} torr vikt, vissa arter visar dock toxiska symptom redan vid koncentrationer på 100 mg Zn kg^{-1} torr vikt (Chaney, 1993; Marschner, 1995) eller 150 mg Zn kg^{-1} torr vikt (Cregg, 2005). Det är inte bara mellan arter toleransen mot zink varierar utan det är också påvisat att det finns skillnader mellan individer inom samma art (Dong m.fl., 2006).

Aluminium

Aluminium är varken ett makro- eller mikronäringsämne men kan påverka en plantas tillväxt negativt om ämnet finns i för stora koncentrationer (Godbold m.fl., 1988). Tall är ett trädslag som klarar en hög halt av aluminium (Foy m.fl., 1978). Göransson & Eldhuset (1991) Granplantorna är känsligare än tallplantor mot aluminium (Foy m.fl., 1978) och tallplantor med mykorrhiza klarar av störst mängd aluminium (Göransson & Eldhuset., 1991). Göransson & Eldhuset (1991) testade gran och talls aluminiumkänslighet, i deras försök fanns det ett samband mellan de externt tillsatta aluminiumkoncentrationerna och aluminiumkoncentrationerna i skotten och rötterna. Sambandet i skotten var dock inte lika starkt som i rötterna. Granplantorna började få morfologiska förändringar i rötterna när koncentrationen i granskotten var över 140 mg aluminium (Al) kg^{-1} och 550 mg Al kg^{-1} för tallskotten. Tillväxten minskade för granplantornas när koncentrationen i skotten var 190 mg Al kg^{-1} och för tallen minskade tillväxten vid en koncentration i skotten över 550 mg Al kg^{-1} . Granbarren blev gula eller gulröda vid koncentrationer i granskotten på över 180 mg Al kg^{-1} och samma symptom fick tallen vid koncentrationer över 480 mg Al kg^{-1} i tallskotten. Näringsbrist kan dock lätt förväxlas med aluminiumtoxicitet (Göransson & Eldhuset, 1991).

Nedbrytning

När ett gödningsämne inte är i upptagbar form som många biologiska gödningsmedel inte är krävs det att det biologiska gödningsämnet bryts ned för att i senare steg frigöra näringsämnen (Baker, 1991). I detta sammanhang är kvoten mellan organiskt kol och organiskt kväve (C/N-kvoten) högst relevant. När biologiska näringsämnen tillsätts en jord innebär det att kvävehalten i jorden oftast ökar. Om C/N-kvoten är hög i det biologiska näringsämnet kan det

växttillgängliga kvävet dock temporärt minska (immobiliseras) eftersom mikroorganismer effektivt konkurrerar med växterna om redan tillgängligt kväve som mikroorganismerna behöver för att bryta ned de kolbindningarna som finns i organiskt material. Efter tid sjunker dock C/N-kvoten och en nettomineralisering börjar ske. När biologiska material tillförs med en C/N-kvot över 25 sker normalt en immobilisering och under 25 en nettomineralisering (Eriksson m.fl., 2005). Vid kompostering bör C/N-kvoten vara 20-30 (Anjaneyulu, 1989). Är kvoten högre blir nedbrytningen långsammare och om den är lägre kan större kväveförluster förekomma (Melin, 2000).

Vid frysbehandling har algar med sydlig härkomst en lägre överlevnad än alger från nordligare breddgrader. Oavsett härkomst får algar en högre överlevnad vid en långsam nedfrysning (Holm-Hansen, 1963). Grönalger kan vara svåra att bryta ned. I ett försök av Mussgnug m.fl (2010) med rötning i 28 dagar bröts algar *Scenedesmus obliquus*, *Chlorella kessleri* och *Chlamydomonas reinhardtii* ner 0 %, 20 % respektive 80 %.

Torv

Torv består av organiskt material och är ett vanligt substrat att odla täckrotsplanter i, mycket på grund av dess goda vattenhållande förmåga. Detta på grund av att torv innehåller ett stort antal små sporer som kan hålla vatten. Detta kan dock vid mycket blöta förhållanden även leda till en anaerob miljö för rötterna och dessa kan dö. Torv har även goda egenskaper att lagra näringsämnen som plantorna kan utnyttja vid senare tillfällen (Raviv m.fl., 1986).

Algpiloten

Dåva kraftvärmeverk ligger cirka 1 mil nordost om Umeå stad centrum. Där produceras värme och elektricitet vid förbränning av avfall och biobränslen. I direkt anslutning till kraftvärmeverket har det byggts fyra bassänger. Där görs försök med att massodla alger kallat algpiloten. Dessa alger får, näring från avloppsvatten (från Dåva och Öns reningsverk), rökgaser innehållande främst koldioxid (från Dåva kraftvärmeverk) och vanligt solljus. Syftet är att rena avloppsvatten och rökgaser samtidigt som biomassa i form av alger bildas. Dessa alger kan i sin tur användas till andra ändamål (Umeå Energi 2012; Zhu m.fl. 2015). Ett av dessa användningsområden är som gödselmedel.

ArGrow

Vid Gideå plantskola odlas årligen totalt cirka 22 miljoner plantor av främst tall (*Pinus sylvestris*) och gran (*Picea abies*) men också en mindre mängd contorta (*Pinus contorta*). Alla plantorna odlade på Gideå plantskola gödslas med arGrow (Edvardsson, Muntlig) vars kvävekälla kommer från aminosyran arginin. ArGrow binder starkare till jordar vilket leder till ett minskat kväveläckage (Hannerz et.al 2009; Hawking 2011). Vid gödsling med aminosyran arginin har det observerats ett minskat kväveläckage samt att plantorna kan tillgodogörande sig denna organiska kvävekälla bättre än vid gödsling med konventionella gödselmedel som är baserade på oorganiska källor såsom ammonium och nitrat (Öhlund och Näsholm 2002).

Plantkvalitet

Rotskottskvot

Det kan vara svårt att avgöra vilken kvalitet plantor håller. Rotskottskvoten (shoot to root ratio) är en kvalitetsaspekt som kan mätas, som visar vilket förhållande som råder mellan rot

och toppskott. En hög rotskottskvot är bra vid planteringar på torra marker (Rytter, 2007; Hobbs, 1982 se Grossnickle, 2012). På granplantor brukar en kvot över 0,35 och för tallplantor över 0,40 betecknas som bra värden (Hajek, muntlig, 2015). En faktor som påverkar rotskottskvoten mycket är tillgången på näringsämnen, särskilt kväve men även fosfor och svavel. Vid en obegränsad tillgång av näringsämnen prioriteras tillväxten på skottet och en låg rotskottskvot ges medan en begränsad tillgång på näringsämnen ger ett högre värde på rotskottskvoten (Rytter, 2007). Dock finns det lite bevis för att några bedömningar om täckrotsplantors vitalitet endast baserat på rotskottskvoten ska kunna göras om planteringsmiljön inte är extra svår för plantan (Bernier et al, 1995 se Grossnickle, 2012).

Bristämn

Enligt Ericsson m.fl. (1992) är en viktsproportion mellan kväve och övriga näringsämnen (Tabell 2) bra för att utröna eventuella bristämnen. Detta menar de dock förutsätter att kvävet har varit det tillväxtsbegränsande näringsämnet. För att komma runt detta kan halterna av näringsämnen i skotten divideras med den kritiska halten för respektive ämne. Om denna kvot är under 1 innebär det att ämnet är begränsande för tillväxten, om flera ämnen har en kvot under 1 är det näringsämne med lägst kvot det tillväxtbegränsande näringsämnet.

Syfte

Denna studie gjordes med syfte att utreda hur algbiomassa av grönalger i blandad mix fungerar som gödselmedel för tall- och granplantor. De aspekter som låg till grund för denna bedömning var:

- Hur väl algernas näringsinnehåll lämpar sig för gran- och tallplantors näringsbehov.
- Hur algbiomassa som gödsel påverkar plantornas tillväxt med avseende på höjd och diameter.

Hypotesen var: att alggödsel påverkar tillväxten på tall- och granplantor vid Gideå plantskola annorlunda jämfört med de arGrowgödslade plantorna. Ett annat syfte var också att förklara varför de alggödslade plantorna fick en annan tillväxt jämfört med de arGrowgödslade plantorna.

Material och metoder

Algernas ursprung

Algerna är skördade vid algpiloten vid Däva kraftvärmeverk. Algstammen bestod av vilda alger som finns i norrländska sjöar och vattendrag. De odlades i 6-10 m³ stora bassänger som var placerade utomhus. Näring till algerna tillkom från avloppsvatten och det tillsattes extra koldioxid i form av rökgaser. Algerna till försöket skördades genom att fylla upp två 20-litersdunkar med alger där Dunk 1 skördades den 15 november 2013 från bassäng B4 och dunk 2 skördades 30 april 2014 från bassäng B2.

Algernas artidentifiering

Ett mikroskoppreparat från algvätskan, ett mikroskop och boken *Identification and Use as bioindicators* (Bellinger & Sigeo 2010) användes för att identifiera vilka olika arter av alger som utgjorde biomassan i dunkarna. De alger som identifierades i alggödslingsmedlet var av släktena *Haematococcus*, *Pediastrum*, *Pandorina*, *Scenedesmus sp.* och *Scenedesmus quadricauda*.

Förberedelse med algerna

De två 20-litersdunkarna skakades noga för att motverka skiktning och tre prov á 100 ml togs från varje dunk. Dessa 6 prover centrifugerades sedan 5 minuter på 4000 varv/minut (3520g). Klar fas hölls ut och den kvarvarande massan på botten (pellet) torkades i torkskåp i två dygn på 80° C. Massan vägdes och en torrsvikt kunde räknas ut. Torrhalten i dunkarna var 2,6 g/100 ml.

Algvätskan från de två dunkarna hölls upp i ett 100 liter stort plastkar och fördelades därifrån till 9 plastdunkar á 4 liter. En liter hölls upp i varje 4-litersdunk åt gången samtidigt som algvätskan i plastkaret kontinuerligt rördes runt. Dessa 9 dunkar placerades sedan i Gideå planskolas frys.

Kväveanalys av algerna

Kvävehalten i dunkarna mättes genom en spektrofotometer Hach Lange DR 3900, Hach Lange Germany. Kvävemängden och torrhalten användes för att räkna ut mängden alger som plantorna gödslades med. För att få ett mer korrekt värde på kvävehalten i algbiomassan skickades de pulveriserade algerna även till institutionen för Skogens Ekologi och Skötsel (Sveriges lantbruksuniversitet) som utförde kväveanalyser (Elemental-Isotope Ratio Mass Spectrometer EA-IRMS), dessa värden användes sedan för att justera den mängd algvätska som skulle gödslas till varje planta.

Näringsanalyser av algerna

Den torra massan av algerna maldes ner till ett fint pulver med hjälp av en kulkvarn (Retsch MM 200, Retsch Germany). Detta pulver skickades in till institutionen för Skogens Ekologi och Skötsel (Sveriges lantbruksuniversitet) där analyser med en inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-OES) gjordes. Detta för att mäta vilka grundämnen algerna består av och i hur stor mängd.

Plantmaterial

De två trädslagen som försöket gjordes på var tall och gran. Tallplantorna hade proviens Våge 125 (Stambrev S08-023) och granplantorna Domsjöänget 130 (Stambrev S13-014).

Odlingslokal och skötsel

Alla Plantor växte i starpotkassetter med plats för 60 plantor. Substratvolymen var 50 cm³ och fylldes innan sådden med förgödslad blocktorv (1m³ torv innehåller 1 kg dolomitkalk och 0,7 kg multimixgödselmedel) mängden kväve i förgödslingen var 4,9 milligram per planta. Torven var levererad av Svenarums torvprodukter AB. Både tallen och granen stod i växthus där en konstant temperatur på 20° C eftersträvades och luftfuktighet kring 70 %. Två veckor efter groning sänktes nattetemperaturen för tallen till ~15° C. Tallen såddes i månadsskiftet mars och april och vattnades upp den 3 april. Mellan den 20 maj och 13 juni mörklades tallplantorna mellan klockan 16.00 och 04.00. Den 1 juli flyttades kassetterna ut på friland. Granen såddes också i månadsskiftet mars och april och vattnades upp den 8 april.

Granplantorna fick tilläggslys under nätterna direkt efter groning och detta fortsatte tills de flyttades ut på friland den 10 juni. Förutom olika gödselmedel var det ingen skillnad i skötsel mellan de alggödslade, arGrowgödslade och ogödslade plantorna.

Försöksdesign

Totalt valdes sju kassetter med tall och sju kassetter med gran. Fyra kassetter med vardera trädslag lottades ut för att gödslas med algvätska och de resterande kassetterna användes som referenser gödslade med arGrow. Algvätskan räckte inte till alla plantor i de 8 kassetterna och därför valdes att endast 26 plantor i en av kassetterna av vardera trädslag skulle gödslas med algvätska, de resterande plantorna i kassetten förblev helt ogödslade. Tabell 3 visar antalet plantor per försök. Varje kassett numrerades och fick en märkbricka för att de inte skulle blandas ihop.

Tabell 3. Antalet tallplantor och granplantor per gödselmedel, alggödslad, arGrowgödslad och ogödslad

	Tall	Gran
Alggödslad	187	184
ArGrowgödslad	153	156
Ogödslad	28	30

Gödselmedel och behandling

Algödslet

Alla plantor som alggödslades gödslades i ett specifikt mönster som bytte riktning vid varje gödslingstillfälle, det vill säga den planta som gödslades först vid ena tillfället gödslades sist vid nästa tillfälle. En fyralitersdunk med algvätska togs ut från frysen och ställdes i rumstemperatur minst ett dygn innan gödslingen skulle genomföras. Dunken skakades i en minut och en liter algvätska hälldes snabbt över till en enlitersbägare. En pipett med den nedersta delen avsågad med kapacitet på 12 milliliter användes för att suga upp algvätska ur enlitersbägaren och applicerades kring stammen på varje planta. Efter var femte planta som gödslades användes pipetten till att röra om i enlitersbägaren med fem snabba varv. Varje planta fick de tre första veckorna 10 milliliter alggödslingssmedel (0,26 gram torr massa innehållande 9 milligram kväve). Sedan alggödslades plantorna med 7,5 milliliter (0,19 gram torr massa innehållande 6,7 milligram kväve) varannan vecka vid 5 tillfällen (Bilaga 1; Tabell 8).

ArGrow

ArGrow är det näringsämne som normalt används vid Gideå planskola och de plantor som ingick i detta försök ingick i den normala produktionen vid plantskolan. Meningen var att de arGrowgödslade plantorna skulle få samma mängd kväve som de alggödslade plantorna sett över hela sommaren men på grund av att ett bevattningsskåp hade ett inprogrammerat fel under juli månad fick de arGrowgödslade tallplantorna mindre total kväve (bilaga 1; figur 8).

Ogödslade

De ogödslade plantorna var i samma kassett som ett antal alggödslade plantor. De fick ingen gödsel i någon form förutom i den förgödslade torven.

Datainsamling

Inmätning vid varje gödslingstillfälle

En planta lottades ut av de sex första plantorna i var kassett, denne plus var sjätte planta i systematisk ordning utgjorde de mätningplantor som mättes under hela försöket. Den parametern som mättes var höjd. Den mättes från pluggen (den del som är i potthålet och består av främst torv, rötter och i detta fall eventuellt även algmassa) till plantans skott med 5 mm intervall. Mätningen skedde på alla kassetter innan varje alggödsling.

Avslutande provtagning

Efter försökets slut (24 september) mättes höjden på alla plantor på samma sätt som beskrivits tidigare.

Diametern mättes också men bara på varje mätningplanta (som höjden kontinuerligt mättes på). Ett digitalt skjutmått användes och stammen mättes närmast pluggen.

Rottskottskvot

Den 24 september lottades 20 plantor ut från varje försök av vardera trädslag och gödslingsmetod förutom de helt ogödslade. Skottet klipptes av i höjd med torven eller alglagret. Rötterna från samma plantor sköljdes noga i vatten för att få bort torv och alger. Topparna och rötterna stoppades sedan i torkskåp och en rotskottskvot kunde räknas ut för.

Näringsanalyser

Den 22 juli gjordes ett kväveprov för att mäta halten kväve i plantorna. Totalt skickades 20 plantor in för varje försök av vardera trädslag och gödslingsmetod förutom de helt ogödslade. Dessa lottades ut med enda undantaget att inga av mätningplantorna kunde bli bland de utlottade. De utlottade plantorna klipptes så nära torven eller alglagret som möjligt och placerades i papperspåsar och torkades i minst 24 timmar i 80° C. Dessa påsar skickades in till Eurofins Food & Agro Kristianstad, Sverige som utförde en kväveanalys av plantorna enligt metod *Leco AN 203-821-394, ISO*. Mätsäkerheten var plus minus 5 procent.

Den 24 september gjordes samma förfarande ännu en gång med skillnaden att mätningplantorna nu också kunde bli utlottade och att 20 plantor även togs från de helt ogödslade plantorna. Dessa påsar skickades återigen in till Eurofins Food & Agro Kristianstad, Sverige där en heltäckande näringsanalys gjordes. Kvävet mättes enligt samma metod som vid mätningstidpunkten i juni. De övriga mätningarna mättes enligt metod *NMKL 161 1998 m*.

Kväveanalys i plugg

Tre plantor för varje försök lottades ut och pluggen delades i tre lika stora bitar. En nedre del, en mellan del och en övre del. Rötterna rensades bort och den kvarvarande torven och algerna torkades i torkskåp i 24 timmar i 80° C. Det torkade materialet maldes ner med en kvarn (Cyclotec 1093 Sample mill Tecator) och skickades till institutionen för Skogens Ekologi och Skötsel (Sveriges lantbruksuniversitet) där kvävehalten mättes som tidigare beskrivits i rapporten.

Uträkning för att påvisa bristämnen

Med hjälp av analysen av granplantornas och tallplantornas näringsinnehåll gjordes en beräkning för att försöka avgöra om det fanns en brist av något näringsämne. Detta gjordes

genom att plantornas värden från Eurofins analys dividerades med värdena från Ericsson m.fl (1994) (bilaga 2).

Statistisk analys

För att försöka fastställa om skillnaderna i höjd på de olika gödslade plantorna var statistiskt skilda från varandra eller bara slumpmässiga användes Minitab 16 statistic software.

Plantornas höjder jämfördes med avseende på gödseltyp: alggödslad, arGrowgödslad eller ogödslad. En variansanalys gjordes: ANOVA – GLM (general linear model) och i körningen valdes även ett Tukey test för att ytterligare kunna jämföra gödselmetoderna.

Konfidensintervallet var 95 % ($p < 0,05$). Samma metod användes också för att beräkna om en eventuell diameterskillnad var statistiskt skilda från varandra. För att denna metod ska kunna användas ska tre grundkrav helst vara uppfyllda, de är: observationerna ska vara oberoende, residualerna i modellen måste vara normalfördelade och variansen i residualerna måste vara konstant. Om detta inte kan uppfyllas kan logaritmen av responsen användas som respons eller så får en annan metod användas (Lantz, 2013).

Resultat

Algernas näringsinnehåll

Kvävehalten i algerna (3,4 %) passade väl till plantornas behov, detta eftersom mängden alger som gödslas bestämdes efter mängden kväve som plantorna behöver. De ämnen som algerna innehöll (Tabell 4) som ungefär stämmer överens med gran och talls behov av näringsämnen (Tabell 2) var fosfor, magnesium, mangan och kisel. De ämnen som algerna innehåller som fanns i för liten kvantitet i jämförelse med gran- och tallplantors behov av näringsämnen var kalium och bor. De ämnen som algerna innehöll som fanns i för stor kvantitet i jämförelse med gran och talls behov av näringsämnen var kalcium, zink, järn och aluminium. Algernas C/N kvot var 9,6.

Tabell 4. Innehållsförteckning för alggödslingsmedel i förhållande till kväve (N=100) och innehållsförteckning för arGrowgödslingsmedel i förhållande till kväve (N=100)

	Alggödslingsmedel	ArGrowgödslingsmedel
Kväve	100,0	100,0
Fosfor	15,2	16,2
Kalium	5,6	66,2
Kalcium	77,5	-
Magnesium	11,3	5,9
Natrium	1,5	-
Mangan	3,0	0,7
Koppar	-	0,0
Zink	8,2	2,4
Bor	0,002	0,3
Järn	41,4	1,6
Aluminium	32,0	-
Svavel	20,7	13,2
Kisel	5,9	-

Plantornas utseende



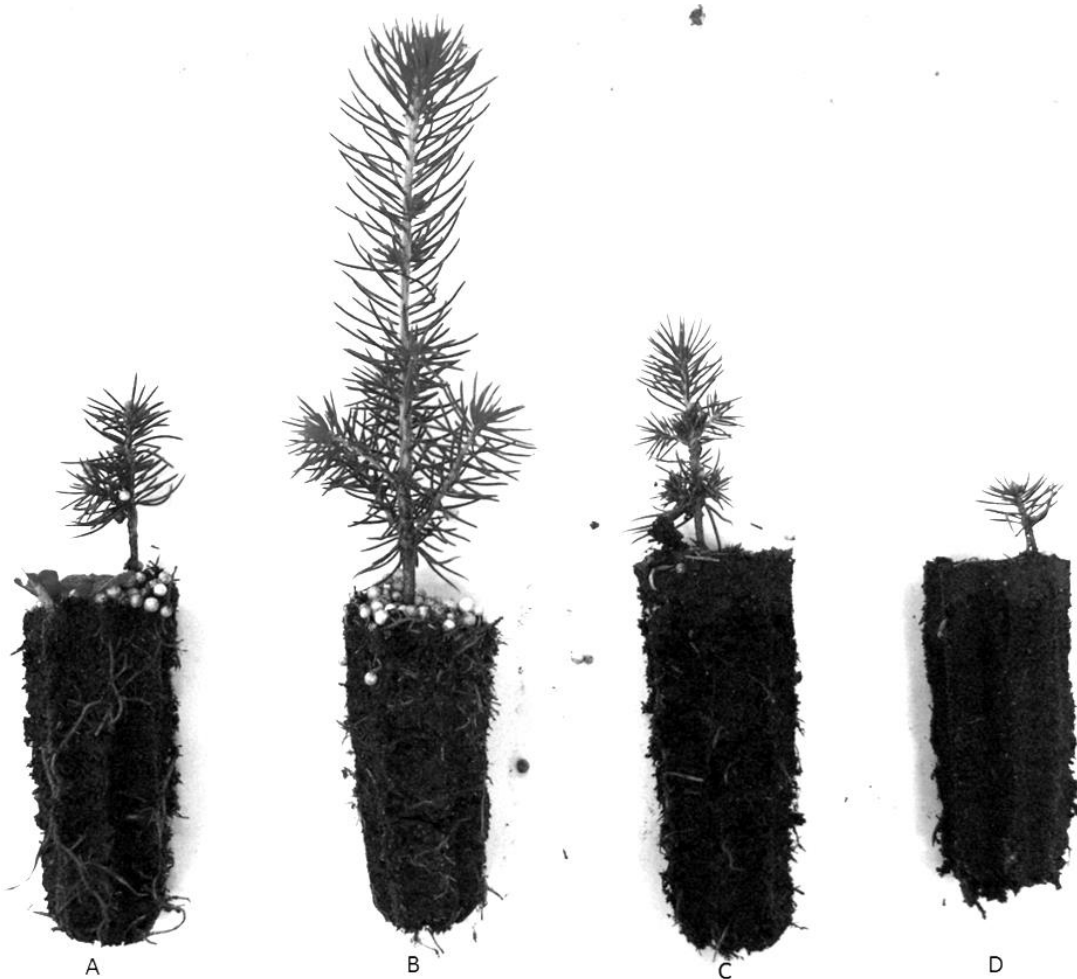
Figur 1. Bild på de alggödslade tallplantorna till vänster och de arGrowgödslade tallplantorna till höger.



Figur 2. Bild på de alggödslade granplantorna till vänster och de arGrowgödslade granplantorna till höger.



Figur 3. En stor och en liten tallplanta subjektivt valda, gödslade med arGrowgödslingsmedel och alggödslingsmedel. Planta A och B är gödslade med arGrowgödslingsmedel. Planta C och D är gödslade med alggödslingsmedel.



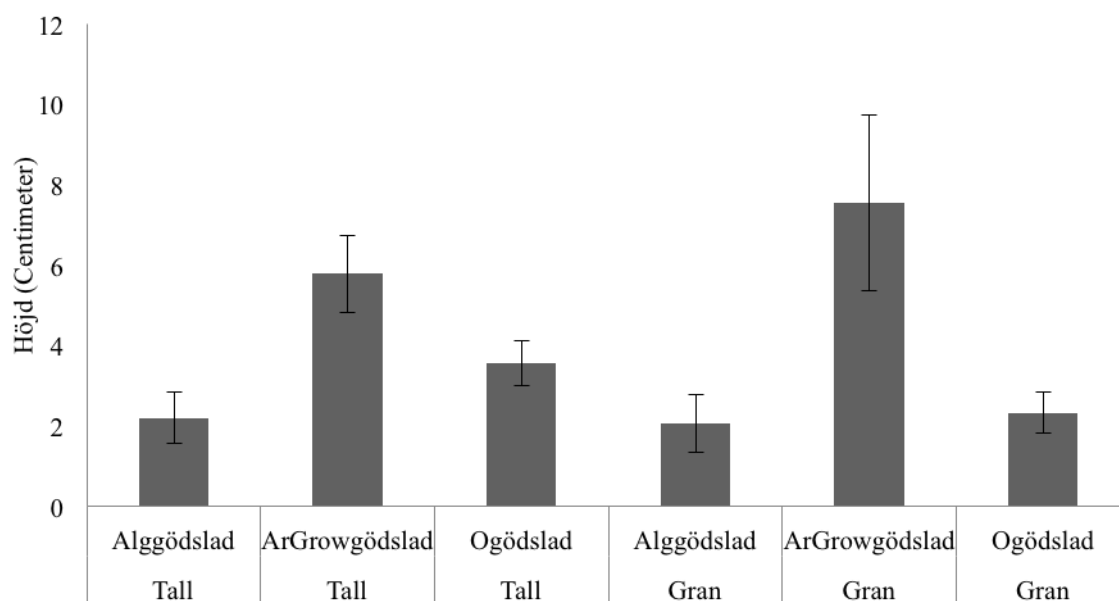
Figur 4. En stor och en liten granplanta subjektivt valda gödslade med arGrowgödslingsmedel och alggödslingsmedel. A och B är gödslade med arGrowgödslingsmedel. Planta C och D är gödslade med alggödslingsmedel.

Ur en subjektiv synvinkel syntes att de alggödslade plantorna har växt sämre än de arGrowgödslade plantorna både på höjden och i diameter (Figur 1 och 2). De hade även en mörkare ton på barren, där färgen gick mellan mörkgrön till mörkröd skala. Mellan plantor gödslade med samma gödslingsmedel fanns det en variation i storlek (se Figur 3 och 4).

Plantornas höjd

Både gran- och tallplantorna gödslade med arGrow började skjuta på höjden i början av juni. Tallens tillväxt avtog i juli medan granen fortfarande växte i augusti. Både tall- och granplantorna gödslade med algödsel visade ingen tillväxt på höjden under hela försöket.

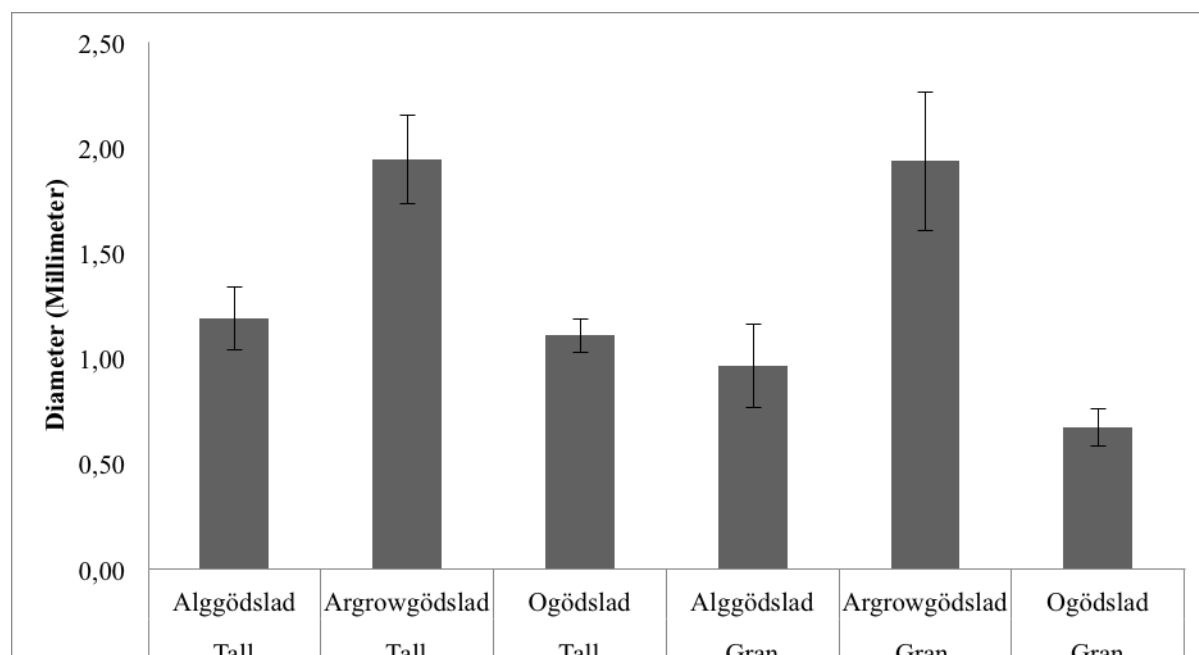
De arGrowgödslade tall- och granplantorna var båda signifikativt högre än de övriga granplantorna gödslade med alger och ogödslade ($P=0,000$). De ogödslade tall- och granplantorna var signifikant större än de alggödslade granplantorna (tall, $P=0,000$; gran, $P=0,049$). Standardavvikelsen var störst bland de arGrowgödslade plantorna, särskilt bland granplantorna (Figur 5).



Figur 5. Medelhöjden och standardavvikelsen i centimeter för gran- och tallplantorna efter försökets slut i september. Bägge trädslag var gödsblad med alger, arGrow eller var helt ogödsblade.

Plantornas diameter

De arGrowgödsblade tall- och granplantorna hade båda signifikativt större diameter än de övriga plantorna gödsblade med alger och ogödsblade ($P=0,000$). De alggödsblade granplantorna var signifikant större än de ogödsblade granplantorna ($P=0,000$). De alggödsblade tallplantorna var inte signifikant större än de ogödsblade tallplantorna ($P=0,197$). Standardavvikelsen var störst bland de arGrowgödsblade plantorna (Figur 6).



Figur 6. Stamdiametern och standardavvikelsen för gran- och tallplantorna efter försökets slut i september. Bägge trädslag var gödsblad med alger, arGrow eller var helt ogödsblade.

Plantornas näringsinnehåll

De ämnen som skiljde sig i proportioner mest mellan de olika gödslade plantorna var zink, järn och aluminium (Tabell 5) där proportionerna var högst i de algödslade plantorna.

Tabell 5. Innehållsanalys av plantorna skördade i september.

		Tall	Tall	Tall	Gran	Gran	Gran
	Mätsäkerhet	Alger	ArGrow	Ogödslad	Alger	ArGrow	Ogödslad
Kväve*	±5%	2,1	1,7	1,3	1,9	2,2	2,4
Fosfor *	±15%	0,14	0,19	0,11	0,16	0,29	0,17
Kalium *	±15%	1	0,92	0,73	1,1	1,2	0,79
Kalcium *	±15%	0,38	0,23	0,29	0,66	0,31	0,52
Magnesium *	±15%	0,13	0,14	0,13	0,12	0,11	0,13
Natrium *	±15%	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015
Mangan **	±15%	360	270	350	460	310	520
Koppar **	±20%	9,2	7,3	5	15	7,4	5,3
Zink **	±20%	150	39	70	140	49	79
Bor **	±15%	23	34	26	30	39	32
Järn **	±15%	300	87	140	450	180	180
Aluminium **	±20-40%	350	100	180	340	69	140
Svavel *	±15%	0,14	0,13	0,09	0,14	0,17	0,15

* procent av torrsubstans

** milligram per kilo torrsubstans

I kvävetestet i juli innehöll tallplantorna gödslade med arGrowgödslingsmedel 1,6 % kväve av torrsubstansen och tallplantorna gödslade med alggödslingsmedel, 2,4 % kväve.

Granplantorna gödslade med arGrowgödslingsmedel innehöll 2,8 % kväve av torrsubstansen och grantallplantorna gödslade med alggödslingsmedel, 2,4 % kväve.

Bristämnerna

Det var mer fosfor i jämförelse med kväve i de arGrowgödslade plantorna än de alg- och ogödslade plantorna, både för tall och för gran.

Tabell 6. Innehållsförteckning för plantor skördade i september i förhållande till kväve (N=100)

Trädslag	Tall	Tall	Tall	Gran	Gran	Gran
Gödsel	Alger	ArGrow	Ogödslad	Alger	ArGrow	Ogödslad
Kväve	100	100	100	100	100	100
Fosfor	7	11	8	8	13	7
Kalium	48	54	56	58	55	33
Kalcium	18	14	22	35	14	22
Magnesium	6	8	10	6	5	5
Natrium	<0,71	<0,88	<1,15	<0,78	<0,68	<0,62
Mangan	2	2	3	2	1	2
Koppar	0,04	0,04	0,04	0,08	0,03	0,02

Zink	0,7	0,2	0,5	0,7	0,2	0,3
Bor	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
Järn	1,4	0,5	1,1	2,4	0,8	0,8
Aluminium	0,017	0,006	0,014	0,018	0,003	0,006
Svavel	7	8	7	7	8	6

När värdena från innehållsanalysen dividerades med värdena för optimal tillväxt hos gran från Ericsson m.fl. (1994) (Tabell 9; Bilaga 2) visade värdena att det tillväxtsbegränsande ämnet för tallplantorna gödslade med alggödslingsmedlet var fosfor, hos tallplantorna gödslade med arGrowgödslingsmedlet var det tillväxtbegränsande ämnet kväve och bland de helt ogödslade tallplantorna var det både fosfor och kväve som var tillväxtbegränsande. Det tillväxtsbegränsande ämnet för granplantorna gödslade med alggödslingsmedlet var fosfor, hos granplantorna gödslade med arGrowgödslingsmedlet fanns det inget tillväxtsbegränsande ämne och bland de helt ogödslade granplantorna var det både fosfor och kväve som var tillväxtbegränsande.

Tabell 7. Innehållsförteckningen för plantor skördade i september dividerat med tabell 1 i Ericsson m.fl. (1994)(Bilaga 2; Tabell 9).

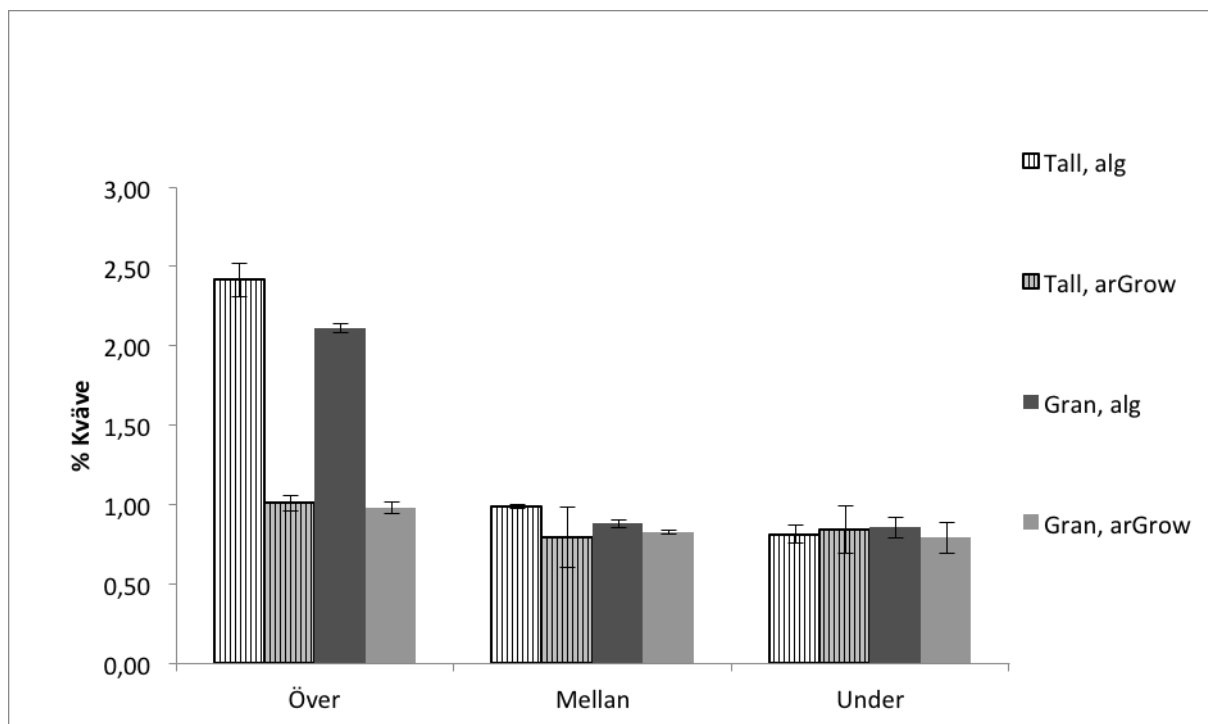
	Tall Alger	Tall ArGrow	Tall Ogödslad	Gran Alger	Gran ArGrow	Gran Ogödslad
Kväve	1,0	0,8	0,6	0,9	1,1	1,2
Fosfor	0,7	1,0	0,6	0,8	1,5	0,9
Kalium	1,4	1,3	1,0	1,5	1,7	1,1
Kalcium	6,3	3,8	4,8	11,0	5,2	8,7
Magnesium	2,9	3,1	2,9	2,7	2,4	2,9
Mangan	25,7	19,3	25,0	32,9	22,1	37,1
Zink	12,5	3,3	5,8	11,7	4,1	6,6
Järn	10,3	3,0	4,8	15,5	6,2	6,2
Svavel	1,5	1,4	0,9	1,5	1,8	1,6

Rotskottskvot

Rotskottskvoten för tallplantorna skilde sig inte mycket beroende på om de var alggödslade eller arGrowgödslade, bägge hade en kvot på ~ 0,7. Det enda värdet som urskilde var de arGrowgödslade granplantorna med ett värde på 0,59 jämfört med granplantorna gödslade med alggödslingsmedel med en kvot på 0,69.

Kvävehalt i plugg

Kvävemätningarna i pluggarna visade att det var mer än dubbelt (256 %) så mycket kväve i över-delarna av pluggarna än i medlet av mellan och under-delen av pluggen för plantorna gödslade med alger (Figur 7). Samma mätning i de arGrowgödslade plantorna (Figur 7) visade en jämnare fördelning mellan kväve i de olika lagren i pluggarna men där det var 22 % mer i över-pluggen jämfört med medlet för mellan- och under-pluggen.



Figur 7. Medelkvävehalten (n=3) och standardavvikelsen i tre lager (över, mellan och under) av pluggen för tall- och granplanter gödslade med alggödslingsmedel och arGrow.

Antalet planter som dog under försöket var för tall: 4 (2 %) döda alggödslad, 1 (< 1 %) död arGrowgödslade och 2 (7 %) döda ogödslad. Antalet planter som dog under försöket var för gran: 8 (4 %) döda alggödslad, 1 (< 1 %) död arGrowgödslade och 0 (0 %) döda ogödslad.

Diskussion

Kvävebrist

Eftersom kvävebrist är en vanlig anledning till nedsatt tillväxt hos växter (Cregg, 2005) är det lätt att tro att det är anledningen till den låga tillväxten. I divideringen med Ericsson m.fl. (1994) värden (Tabell 7) kan det ses att kväve inte har den lägsta kvoten förutom i tallplantorna som var ogödslade där fosfor och kväve båda hade den lägsta kvoten på 0,6. Enligt Ericsson m.fl (1994) är det tillväxtbegränsande ämnet det ämne som har lägst kvot. Det skulle betyda att kväve inte var det begränsande ämnet utan fosfor hos de alggödslade plantorna. Det ska kommas ihåg att dessa värden från Ericsson m.fl (1994) är framräknade för gran och inte tall. Hur missvisande detta kan vara är svår bedömt men klart är att det bör beaktas vid dragna slutsatser. Då C/N kvoten i algerna på 9,6 är lägre än 25 borde det bli en nettomineralisering av kvävet när algernas bryts ner (Eriksson m.fl., 2005). Då de ogödslade granplantorna innehöll 2,4 % kväve (Tabell 5) är det svårt att dra några definitiva slutsatser eftersom plantor som bör ha näringsbrist ändå kan ha höga värden procentuellt. De symptom som beskrivs av Raven m.fl., (2005) att plantorna ska visa symtom av kloros där barren bleknar eller blir gula kan inte ses på plantorna (Figur 1 och 2).

Kvävet i pluggen var koncentrerad i den översta delen (Figur 7) som innehåller över 256 % mer kväve än medlet i mellan och understa pluggen. Algödslingsmedlet lyckades därmed inte sprida sig jämnt i hela pluggen utan fastnade i den översta delen. I de pluggar som algödslades fanns det mer kväve i den översta pluggen jämfört med de arGrowgödslade, mellan pluggen och under pluggen hade liknande nivåer av kväve mellan de två gödslingsmedlen (Figur 7). De arGrowgödslade plantorna fick lika mycket eller mindre mängd kväve än de alggödslade plantorna och detta tyder på att de alggödslade plantorna inte kunnat ta upp allt det kväve som algerna innehåller.

Fosforbrist

Det verkar som fosforbristen var den främsta anledning att plantorna inte har en god tillväxt. I plantornas innehåll i förhållande till kväve (Tabell 6) har alla utom de arGrowgödslade plantorna låga fosforvärden i förhållande till de optimala proportionerna av näringsämnen (Tabell 2). Den heltäckande näringsanalysen av algernas innehåll (Tabell 4) visar att det finns en tillräcklig mängd fosfor i algerna för att stämma med plantornas optimala proportioner av näringsämnen (Tabell 2). I algödslingsmedlet går det 15,2 enheter fosfor på 100 enheter kväve, samtidigt som Rytter (2007) sätter optimala mängden fosfor till 13 enheter per 100 enheter kväve. Detta tyder på att plantorna inte lyckas tillgodogöra sig det fosfor som algerna innehåller. Om cellerna inte bryts ned är fosforet bundet inom algcellen vilket leder till att plantorna inte kan tillgodogöra sig fosforet. Alger av släktet *Scenedesmus* fanns i algödslingsmedlet och eftersom algarten *Scenedesmus obliquus* var nästintill helt intakt efter 28 dagars rötning i Mussgnug m.fl.s (2010) studie kan det misstänkas att algerna som gödslades till plantorna var svåra att bryta ner. Mussgnug m.fl (2010) fick en större nedbrytningsgrad hos en annan grönalg, *Chlamydomonas reinhardtii*, den släkten hittades dock inte bland algerna som gödslades till plantor. Att dra allt för stora paralleller av detta kan vara felaktigt då det i samma studie skrevs att inget samband mellan typ av alg och nedbrytningsgrad kunde ses, varje algart var olika. Dock kan konstateras att vissa alger inte

bröts ned av denna tuffa förbehandling och algerna som gödslades till plantorna bör inte bli mer nedbrutna än de alger som utsätts för rötning när ingen riktig förbehandling ägde rum. Trots att algerna vid ett flertal gånger frystes ned behöver detta inte ha dödat algerna eller gjort någon större cellförstörelse. Då nedfrysningarna skedde långsamt kan man misstänka att många av de gröna algerna överlevde som tidigare har visats (Holm-Hansen 1963). Att fosforet skulle bli otillgängligt eftersom att pH eventuellt inte var mellan 6 och 7 som var det optimala för upptag av fosfor (Russel & Wild, 1988) bedöms inte vara troligt då torven är en organisk jord. Färgen på plantorna (Figur 1 och 2) ser ut att vara mörkbruna/lila, detta stämmer väl med kännetecknet att fosforbrist kan ses genom att barren blir lila (Cregg, 2005; Wallace, 1946).

Förgiftning

Då halterna i de alggödslade plantorna ligger på 300 mg Fe kg⁻¹ torr vikt för tall respektive 450 mg Fe kg⁻¹ torr vikt för gran ligger de värdena nära de 500 mg Fe kg⁻¹ torr vikt som Marschner (1995) menar är en toxisk gräns. Detta kan ha bidragit till den dåliga tillväxten och bör definitivt vara något som närmare kontrolleras vid nya försök. Anledningen att algerna innehöll en stor mängd järn (Tabell 5) bör vara att algerna har växt av näringsämnen från avloppsvatten. Alger har en god förmåga att rena vatten från metaller så som järn (Wang m.fl., 2009) och detta har de bevisligen gjort då det på varje gram kväve i algerna finns 0,41 g järn. Inget symtom av kloros kan ses på plantorna (Figur 1 och 2) vilket tyder på att det inte var järntoxicitet (Cregg, 2005). Det är dock väldigt svårt att se järnbrist via yttre synbara symtom (Foy m.fl., 1978; Cregg 2005). De ogödslade tall- och granplantorna har inte lika höga värden av järn, 140 mg järn kg⁻¹ torr vikt för tall och 180 mg järn kg⁻¹ torr vikt för gran vilket tyder på att det var just alggödslingen som orsakar de högre värdena av järn.

Då Chaney (1993) konstaterar att höga halter av zink är vanligt i områden med mänsklig aktivitet är det inte särskilt konstigt att höga halter kan hittas i alger som har fått sin näring från mänskligt avloppsvatten. Halterna på 150 mg Zn kg⁻¹ torr vikt i tallplantorna och 140 mg Zn kg⁻¹ torr vikt i granplantorna tyder på att det kan vara toxiskt. Dock är det vanligt med symtom vid en koncentration på 300 mg Zn kg⁻¹ torr vikt, vissa växter kan visa symtom redan vid koncentrationer på 100 mg Zn kg⁻¹ torr vikt (Chaney, 1993; Marschner, 1995). Då ingen studie funnits som avhandlat tallens och granens motståndskraft mot zink får de yttre symtomen av plantorna avgöra om det är troligt att de blivit zinkförgiftade. Eftersom plantorna inte har uppvisat några tecken på kloros (Foy m.fl.; Chaney, 1993) utan bara minskat sin tillväxt är slutsatsen att detta med stor sannolikhet inte var zinktoxicitet. Då Dong m.fl., (2006) visat att en skillnad i motståndskraft mot zinktoxicitet även kan förekomma inom arter kan det tänkas att vissa plantor har blivit begränsade av det och andra inte.

Aluminium finns i stora kvantiteter i algerna, det finns totalt mer än dubbelt så mycket aluminium än det finns fosfor (Tabell 5). Per varje gram kväve i algerna går det 0,32 g aluminium. I Göransson & Eldhusets (1991) studie kom de fram till att plantorna reagerar på olika vis vid vissa externa koncentrationer. När plantorna fick morfologiska förändringar hade granskotten en koncentration på 140 mg Al kg⁻¹ och tallskotten hade en koncentration på 550 mg Al kg⁻¹. Tillväxten minskade vid koncentrationer på 190 mg Al kg⁻¹ i granskotten och vid koncentrationer på 550 mg Al kg⁻¹ i tallskotten. När granbarren blev gula eller gulröda var koncentrationen 180 mg Al kg⁻¹ i granskotten och när tallen fick samma symptom som granen var koncentrationen 480 mg Al kg⁻¹ i tallskotten. Granplantorna gödslade med alggödslingsmedlet hade en skottkoncentration på 340 mg Al kg⁻¹ (Tabell 5), tallplantorna

gödslade med alggödslingsmedlet hade en skottkoncentration på $350 \text{ mg Al kg}^{-1}$. Om Göransson & Eldhusets (1991) studies resultat skulle stämma på plantorna i detta försök har de algödslade granplantorna haft morfologiska förändringar, tillväxtminskning och färgförändringar mot gul eller gulröda. Morfologiska förändringar har inte observerats, någon kvalificerad undersökning av rötterna ägde aldrig rum och därmed kan förändringar skett obemärkt. Någon tillväxt har inte observerats. En färgförändring har inte märkts mot gul men däremot ser granplantorna (Figur 2) rödaktiga ut. Tallplantorna bör inte ha påverkats av aluminiet eftersom tallskottens koncentrationer var lägre än värdena i Göransson & Eldhusets (1991) studie. Eftersom tallplantor redan tidigt under den första tillväxtsåongen normalt utvecklar mykorrhiza (Molina & Trappe 1984) och tallplantor med mykorrhiza har hög motståndskraft mot aluminium toxicitet (Göransson & Eldhuset 1991) bör tallplantor generellt i Sverige vara motståndskraftiga mot aluminiumtoxicitet. Då rötternas aluminiumkoncentrationer bättre stämde överrens med de yttre externa koncentrationerna bör rötternas aluminiumkoncentration också ha undersökts för att bättre kunna klargöra om den höga aluminiumkoncentrationen kan vara förklaringen till den dåliga tillväxten på granplantorna. Värdena från Eurofins om plantornas aluminiumkoncentration i skotten har en mätsäkerhet på plus/minus 20 till 40 %, med denna osäkerhet blir varje slutsats dragna utifrån dessa värden också osäkra.

Rotskottskvot

I jämförelse med Hajeks (Muntlig, 2015) värden på Skogforsk var rotskottskvoten hög för både tall och gran gödslade med arGrow och alggödslingsmedel. Granplantorna som bör ha en kvot över 0,35 (Hajek, Muntlig, 2015) hade en kvot på 0,59 för de arGrowgödsade och 0,69 för de alggödslade. Tallplantorna som bör ha en kvot över 0,40 (Hajek, Muntlig, 2015) hade en kvot på 0,69 för de arGrow gödslade och 0,69 för de alggödslade. Detta var inte förvånande när rotskottskvoten ofta är hög i substrat där plantorna har svårt att tillgodose sig de näringsämnen som behövs (Rytter, 2007). Att de arGrowgödslade plantorna har en hög kvot trots en god tillgång på näringsämnen kan tyda på att kvävet starkare bindning i torven (Hannerz m.fl., 2009; Hawking, 2011) stimulerar växtens rotutveckling. Den höga rotskottskvoten kan vara en fördel för de alggödslade plantorna då de vid en eventuell utplantering bättre skulle klara av torra förhållanden (Rytter, 2007). Alla rötter och skott gödslade på samma sätt torkades och vägdes tillsammans, därmed var det inte möjligt att göra någon statistik körning på om kvoterna eller vikterna statistiskt skilde sig eller om det var slumpmässigt. Att de arGrowgödslade granplantornas rotskottskvot var lägre kan bero på att de arGrowgödslade tallplantorna fick mindre gödsel och satsade mer på rotsystemet i jämförelse med granplantorna.

Rotskottskvoten togs aldrig för de ogödslade plantorna, detta eftersom att det inte fanns tillräckligt många plantor att tillgå. Om skotten hade torkats hade den vikten tillsammans med värdena från Eurofins analys om plantornas innehåll kunnat användas till att räkna ut den faktiska mängd av olika grundämnen som skotten innehöll. Om samma förfarande gjordes med de alggödslade plantorna skulle en skillnad ha kunnat räknas ut mellan de ogödslade och alggödslade plantorna. Denna skillnad mellan upptagen skulle då representera det eventuella extra upptaget av näringsämnen och andra grundämnen som de alggödslade plantorna skulle ha tagit upp till följd av alggödslingen. Det hade då varit lättare att dra slutsatser om hur stor mängd kväve, fosfor och andra näringsämnen som plantorna kunnat tillgodogöra sig från alggödslingen.

Brister i metoden

Mätningsskottmetoden som användes när höjden på plantorna mättes (från högsta punkten på pluggen till skottet på plantan) var dåligt anpassad till denna studie. Alggödslingsmedlet

gödslades runt plantornas stam och då växte pluggen på höjden efter varje gödseltillfälle. Detta minskade avståndet mellan pluggen och skottet och därmed också plantans höjd. Det misstänks vara anledningen att de ogödslade tall- och granplantorna i mätningarna fick ett högre värde på medelhöjden än de alggödslade tall- och granplantorna. För att undvika detta skulle en annan metodik kunna ha valts där plantans höjd mättes från plastkassetten till skottet på plantan.

Vid mätningen av stamdiametern bör en annan metodik ha valts. Då stammen på ett träd oftast är som grövst närmast marken bör de alggödslade plantorna fått ett något lägre värden eftersom mätningen skedde där stammen var närmast pluggen. En bättre metodik hade istället varit om mätningen skedde precis över den översta sidoroten. Om denna hypotes stämmer kan skillnaden mellan de alggödslade plantorna och de ogödslade plantornas stamdiameter vara större än vad mätningarna påvisade. Ur en subjektiv synvinkel såg de alggödslade plantorna ut att ha en större diameter än de ogödslade. Detta stämde också med mätningarna men kunde bara statistiskt fastslås hos granplantorna, att de hade en grövre diameter bör betyda att de fick tag i en del av den näring som algerna innehöll.

Dödligheten bland plantorna skiljde sig mellan de alggödslade och arGrowgödslade med cirka 4 % för gran och cirka 2 % för tall. Det är inte visat att detta beror på näringsbrist eller toxicitet då det kan vara många olika anledningar och skillnaden kan bero på slumpen. En förklaring som dock skulle kunna förklara skillnaden är att de minsta plantorna som vanligen var granplantor fick sina nedersta barr täckta av alggödslet som gödslades runt stammen. Dessa bar fick ingen solljus och bör inte kunnat göra fotosyntes vilket bör missgynna plantorna. Många av de döda plantorna var mindre plantor.

Då alggödslingsmedlet i jämförelse med arGrow, nitrat och ammonium är förhållandevis långsam på att utsöndra näringsämnen skulle nya försök kunna vara över längre tid gärna över flera år liknande det som gjordes inom projektet EU-Life algae (Melin 2000). Algerna skulle även kunna testas på andra typer av växter som har en snabbare omloppstid där resultat kan ses tidigare. Istället för att testa algernas egen förmåga som gödslingsmedel bör det också testas hur alger fungerar som komplement till andra gödselmedel som har gjorts i andra försök (Huang m.fl., 2014) och som också diskuterades i EU-life algae projektet (Melin, 2000). En förbehandling liknande den som användes av Huang m.fl., (2014) med en kompostering i hög värme hade också varit bra att testa, detta för att försöka bryta ner algcellerna.

Slutsatser

Algerna innehåller en bra mix av näringsämnen för att kunna fungera bra som gödslingsmedel (Tabell 2 och 5). I försöket har det dock visats att plantorna inte växte bra, varken på höjden eller diametern. Algerna innehåller också mycket metaller som kan bli toxiska för plantorna. Mer bör göras för att undersöka om alger som växt i avloppsvatten är lämpliga att gödsla till växter då de innehåller en stor mängd metaller. Alger bör ha någon förbehandling innan gödsling för att tillgängliggöra näringsämnena till plantorna bättre, vilken förbehandling som skulle vara mest passande bör undersökas.

Referenser

- Anjaneyulu, k., Tarwadi, S.J., Mehta, D.J. 1989. Anaerobic digestion of seaweed for biogas: A kinetic evaluation. J. Chem. Tech. Biotechnol. 45: 5-14
- Baker, (1991). *Organic Substances and Sediments in Water*. Vol 1 Humics and soils. Lewis publishers. Michigan.
- Bellinger, E.G., Sigge, D.C., (2010). *Freshwater Algae: Identification and use as Bioindicators*. Oxford. Wiley-Blackwell
- Benemann J. R.,(1979). Production of nitrogen fertilizer with nitrogen-fixing blue-green algae. Berkeley. University of California, Berkeley
- Bernier PY, Lamhamedi MS, Simpson DG (1995) Shoot:root ratio is of limited use in evaluating the quality of container conifer stock. Tree Planters. Notes 46:102–106
- Chaney RL., (1993). Zinc phytotoxicity. In: Robson A. D., ed. Zinc in soil and plants. Dordrecht, the Netherlands: Springer Netherlands, pp 135-150
- Cregg. B., (2005). *Conifer Nutrition*. Conifer corner. The Michigan Landscape.
- Dong Y, Ogawa T, Lin D, Koh H-J, Kamiunten H, Matsuo M, Cheng S, (2006). *Molecular mapping of quantitative trait loci for zinc toxicity in rice seedling (Oryza sativa L.)*. Field Crop Res 95, 420–425
- Ericsson, T., Göranson, A. & Kähr, M. 1994. Sluttrapport till projektet “Mineralnäringstillstånd – optimala halter och proportioner hos gran” (not published). 3 pp.
- Ericsson, T., Rytter, L. & Linder, S. 1992. Nutritional dynamics and requirements of short rotation forests. In: Mitchell, C.P., Ford-Robertson, J.B., Hinckley, T. & Sennerby-Forsse, L. (eds.) *Ecophysiology of Short Rotation Forest Crops*, Elsevier, Appl. Sci., London, s 35-65
- Eriksson, J., Nilsson, I. & Simonsson, M., (2005). Wiklanders Marklära. Lund: Studentlitteratur AB.
- Foy C. D., Chaney R. L., White M. C., (1978). *The physiology of metal toxicity in plants*. Annual Review of Plant Physiology.
- Godbold D.L, Dictus K, and Hüttermann (1988). *Influence of aluminium and nitrate on root growth and mineral nutrition of Norway spruce (Picea abies) seedlings*. Can J For Res. 18:1167-1171.
- Grossnickle S. C, (2012) Why seedlings survive: influence of plant attributes. New Forest. 43:711-738
- Göransson. A. & Eldhuset. A.D., (1991). *Effects of aluminium on growth and nutrient uptake of small Picea abies and Pinus sylvestris plants*. Trees - Structure and Function 5: 136-142.

- Hannerz, M. Lindström, A. & Wallertz, K (2009). *Gödselmedel med aminosyror*. Plantaktuellt. Nr 2. ISSN: 1403
- Hawkins B. J., (2011). *Seedling mineral nutrition, the root of the matter*. Rocky Mountain Research Station: 87-97. USDA Forest Service Proceedings.
- Hobbs SD (1982) Stocktype selection and planting techniques for Douglas-fir on skeletal soils in southwest. Oregon. In: Hobbs SD, Helgerson OT (eds) Proceeding of reforestation of skeletal soils workshop. Oregon State University, Corvallis, pp 92_96
- Holm-Hansen O (1963). *Viability of Blue-Green and Green Algae after Freezing*. Physiologia Plantarum, vol 16: 530-540.
- Huang Y, Li R, Liu H, Wang B, Zhang C, Shen Q (2014). *Novel resource utilization of refloated algal sludge to improve the quality of organic fertilizer*. Environmental Technology, 35:13, 1658-1667.
- Lantz, B., (2009). *Grundläggande statistisk analys*. 2. Ed. Jönköping. Studentlitteratur AB.
- Lynch, J., (1995). *Root architecture and plant productivity*. Plant Physiol. 109: 7–13
- Marschner, H., (1995). Mineral nutrition of higher plants. Second edition. Academic press, San Diego.
- Melin, Y. (2000). *Alternativ användning av marina fintrådiga makroalger*. Länsstyrelsen Västra Götaland. 2001:41.
- Mengel K., Kosegarten H., Kirkby E.A., Appel T., (2001). Principles of Plant Nutrition. 5:th edition. Springer Science & Business
- Molina R, Trappe J. M. (1984). *Forestry Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings*. Forestry Sciences Volume 11. Mycorrhiza Management in Bareroot Nurseries, pp 211-223
- Mussgnug, J. H., Klassen, V., Schlüter, A., Kruse O (2010). *Microalgae as substrates for fermentative biogas production in a combined biorefinery concept*. Bielefeld University. Volume 150, Issue 1, 1, pp 51–56.
- Nobel Lectures, (1966) Chemistry, 1901-1921, Elsevier Publishing Company, Amsterdam,
- Näsholm T, Ekblad A, Nordin A, Giesler R, Högberg M & Högberg P (1998). *Boreal forestplants take up organic nitrogen*. Nature 392, 914–916.
- Persson, J. Gardeström, P. och Näsholm, T. (2006). *Uptake, metabolism and distribution of organic and inorganic nitrogen sources by Pinus sylvestris*. Journal of experimental botany, 57, 2651-2659.

Raven, P. H., Evert, R. F., Eichhorn, S. E. (2005). *Biology of plants*. 2. Ed. New York. W.H. Freeman and company.

Raviv M., Chen Y., Inbar Y., (1986) Peat and peat substitutes as growth media for container-grown plants. In: The Role of Organic Matter in Modern Agriculture. Editors. Chen Y., and Avnimelech Y.

Russell, E.W., (1988). *Russell's soil conditions and plant growth*. 11th edition. Ed. A. Wild. Longman Group, p. 357. 991 pp.

Rytter Lars (2007). *Gödsling av täckrotsplantor*. Ekebo. Lektion 2 ur PA nr 2.

Schachtman, D. P., Reid, R J. and Ayling S M. (1998). *Phosphorus uptake by plants: from soil to cell*. Plant Physiology, 116, 447-453.

Smith S. .E, and Read DJ (1997). *Mycorrhizal Symbiosis*. San Diego, CA. Third edition. Academic Press.

Umeå Energi (2012). *Umeå Energis algbassänger tar form på Dåva*. Pressmeddelande.

Vance, C P. (2001). *Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition. Plant nutrition in a world of declining renewable resources*. Plant Physiology, 127, 390-397.

Wang L, Min M, Li Y, Chen P, Chen Y, Liu Y, Wang Y and Ruan R (2009) *Cultivation of Green Algae Chlorella sp. in Different Wastewaters from Municipal Wastewater Treatment Plant*. University of Minnesota

Wallace, T. (1946). *Mineral Deficiencies of Plants*. Long Ashton, Bristol

Yamauchi. M,(1989). *Rice bronzing in Nigeria caused by nutrient imbalances and its control by potassium sulfate application*. Plant and Soil 117, 275-286.

Zhu Y, Piotrowska P, Van Eyk PJ, Boström D, Kwong CW, Wang D, Cole AJ, de Nys R, Gentili FG, Ashman PJ. (2015). *Co-gasification of Australian brown coal with algae in a fluidized bed reactor*. Energy & Fuels in press.

Muntligakällor

Edvardsson. E. Odlingaledare, Gideå planskola. Holmen skog, 2014-10-15

Hajek, Jörgen. Plantskolechef i Sävar. Skogforsk. 2015-02-28

Bilagor

Bilaga 1.

Tabell 8. Gödslingschema för alla plantor under försökets gång

Gran gödslad med ArGrow			Tall gödslad med ArGrow		Plantor med alggödslingsmedel		
Vecka	Datum	Kväve*	Datum	Kväve*	Datum	Alggödslingsmedel	Kväve*
21	23-maj	1,6	23-maj	1,6		Milligram	
22	30-maj	1,6	30-maj	1,6	27-maj	10	9,0
23	04-jun	3,2	04-jun	1,6	03-jun	10	9,0
24	10-jun	1,6	10-jun	1,6	10-jun	10	9,0
25	17-jun	1,6	19-jun	3,2			
26	24-jun	3,2	24-jun	3,2	24-jun	7,5	6,7
	27-jun	3,2					
27	01-jul	3,2	01-jul	1,6			
28	08-jul	3,2	08-jul	1,6	08-jul	7,5	6,7
29	15-jul	5,4	15-jul	2,4			
30	22-jul	5,4	22-jul	2,4	22-jul	7,5	6,7
31	30-jul	5,4	29-jul	2,7	29-jul	**	2,4
32	05-aug	3,2	05-aug	3,2	07-aug	7,5	6,7
33	12-aug	3,2	12-aug	3,2			
34	19-aug	3,2	19-aug	3,2	22-aug	7,5	6,7
35	26-aug	3,2	26-aug	3,2			
36	01-sep	3,2	01-sep	3,2			
37	11-sep	3,2	11-sep	3,2			
38	16-sep	3,2	16-sep	3,2			
Summa		61			Tall		62,9
					Gran		60,5

* Milligram kväve per planta

* Omedveten och ej planerad extra gödsling med arGrow på tallplantorna annars gödslade med algvätska

Bilaga 1.

Tabell 9. Gränsvärden i granbarr som enligt Ericsson m.fl. (1994) fortfarande medger maximal tillväxthastighet

mg g ⁻¹	
Kväve	20,3
Fosfor	2
Kalium	7,2
Kalcium	0,6
Magnesium	0,45
Mangan	0,014
Zink	0,012
Järn	0,029
Svavel	0,95

SENASTE UTGIVNA NUMMER

- 2014:20 Författare: Wolfgang Nemec
The growth dynamics of Douglas fir in Sweden and Finland – Application of the 3-PG stand growth model
- 2014:21 Författare: Jennifer McGuinness
Effect of planting density and abiotic conditions on yield of *Betula pendula* and *Pinus sylvestris* seedlings in monoculture and mixture
- 2014:22 Författare: Emil Mattsson
Zonerat skogsbruk – en möjlighet för Sverige
- 2014:23 Författare: Emma Borgstrand
Plantors och trädets tillväxt efter schackrutehuggning och i konventionellt trakthyggesbruk
- 2014:24 Författare: Fredrik Eliasson
Förutsättningar för virkesinriktad skogsodling med inhemska trädslag i Peru
- 2014:25 Författare: Torun Bergman
Markanvändning och ekosystemtjänster i en gradient från borealt till alpint landskap – Vilhelmina Model Forest
- 2014:26 Författare: Molly Nord Gårdman
Enskilda privata skogsägares inställning till skogsgödsling i Västerbottens län
-
- 2015:1 Författare: Anders Henriksson
Kan markfuktighetskartor användas för att hitta skogsmark med hög bonitet? – Ett GIS-baserat försök med DTW-index och laserskannad övre höjd
- 2015:2 Författare: Louise Magnusson
Markberedning i blockrik terräng – En jämförelse mellan grävmaskin och harv
- 2015:3 Författare: Julia Ingelmark
Död ved i vattendrag och kantzon, Blå målklassning och NPK+ - En studie av förhållandena på Villingsbergs skjutfält
- 2015:4 Författare: Malin Boström
Do 25 years old skid tracks restrict growth and survival? – A study on growth conditions for the planted regeneration in a rainforest rehabilitation project
- 2015:5 Författare: Mikael Kullström
Naturligt föryngrade huvudstammar i röjda bestånd etablerade efter plantering på SCAs mark
- 2015:6 Författare: Sara Waern
Återskapande av biodiversitet i degraderad sekundär regnskog i Sabah, Malaysia – naturlig föryngring av träd efter restaureringsåtgärder
- 2015:7 Författare: Sandra Laestander
”Den kemiska bekämpningen av skadlig lövskog har öppnat helt nya vyer för skogsbruket” – Flygbesprutning med herbicider i Arjeplog 1953-1978

Hela förteckningen på utgivna nummer hittar du på www.seksko.slu.se